농업용 저수지 퇴적물의 오염유형 특성 연구

Study on Characteristics with Pollution Types of Agricultural Reservoir Sediment

김희수*, 최이송**, 이진경***, 오종민****

Kim Hee Soo, Choi I Song, Lee Jin kyung, Oh Jong Min

요 지

본 연구에서는 농업용 저수지의 수질을 악화시키는 원인으로 판단되는 퇴적물의 현황을 파악하기 위하여 저수지의 퇴적물에 영향을 미칠 수 있는 물리성 및 오염원 특성에 따라 유형 분류를 실시하여 각 유형별 대상 저수지를 선정하여 현장 모니터링을 통해 기초자료를 확보하였고, 이를 국내외 자료 및 수질자료와 비교·분석을 통해 총체적인 오염도를 평가하였다.

연구 대상 저수지의 분류 기준은 저수지 퇴적물의 성상 및 특성에 영향을 미칠 수 있는 주요 요소인 저수지 오염원과 설치년도로 하였다. 이에 따라, 현장 답사 및 사전조사 결과를 토대로 가장 적합한 조사대상 저수지를 선별하였다. 최종적으로 선정된 연구 대상 저수지는 생활계의 인평(1960년대 이전), 업성 저수지(1960년대 이후)와 축산계의 이담(1960년대 이전), 공리 저수지(1960년대 이후)이다.

내부 오염 부하량이 수체에 미치는 영향을 평가하기 위해 실시한 용출량 실험 결과, 호기 조건의 경우에는 축산계의 T-P를 제외하고 생활계, 축산계 모두 용출이 일어나지 않는 것으로 조사되었다. 반면에 혐기 조건의 경우에는 생활계 보다는 축산계가, 1960년대 이후보다는 1960년대 이전에 축조된 저수지의 용출이 보다 활발한 것으로 나타났다. 조건별 용출량이 수체에 미치는 영향은 호기 조건에서 생활계 및 1960년대 이후의 경우 음의 값을 보여 수질이 개선되는 것으로 나타났다. 반면, 혐기 조건에서는 T-N의 경우 생활계와 1960년대 이후 저수지에서는 용출이 일어나지 않았으나 그 외의 항목에서는 모두 용출이 일어나는 것으로 나타났다. 특히 혐기조건은 T-P의 용출에 영향을 크게 미치는 것 으로 나타났는데, 수질에 미치는 영향을 기여율로 환산할 경우 생활계에서 11%, 축산계에서 13.7%, 1960년대 이전에서 18.3%, 1960년대 이후에서 6.39% 영향을 미치는 것으로 나타났다.

사사: 본 연구는 한국농어촌공사 농어촌 연구원의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

핵심용어 : 농업용 저수지, 퇴적물, 용출량

* 비회원・경희대학교 공과대학 환경학 및 환경공학과 ・E-mail : nagmltn@nate.com

** 정회원・경희대학교 공과대학 환경학 및 환경공학과 겸임교수・E-mail : isongchoi67@daum.net

*** 정회원・한국농어촌공사 농어촌연구원・E-mail : jin77@ekr.or.kr

**** 정회원・경희대학교 공과대학 환경학 및 환경공학과 교수・E-mail : jmoh@khu.ak.kr

1. 생활계 저수지 용출속도 산정결과

생활계 저수지의 용출량을 산정하여 내부 오염 부하량으로 인한 수체에 미치는 영향을 평가하기 위해 용출 실험을 실시하였다. 결과는 아래의 [표 1]에 나타내었다.

인평과 업성 모두 호기 조건에서는 COD, T-N, T-P의 값이 음의 값을 나타내었으며 혐기 조건에서는 COD와 T-P의 용출이 일어났으며 T-N의 경우는 혐기 조건에서도 용출 속도가 음의 값을 나타내었다. 혐기 조건에서 COD의 용출 속도는 평균적으로 인평에서 176 $mg/m^2 \cdot day$ 업성에서 52.4 $mg/m^2 \cdot day$로 업성 보다 인평에서 3.4배 빠르게 일어났고 T-P 또한 인평에서 26.7 $mg/m^2 \cdot day$, 업성에서 14.0 $mg/m^2 \cdot day$로 인평에서의 용출 속도가 업성 보다 약 2배가량 빠르게 일어났다. 전체적으로 인평과 업성 저수지는 호기 조건일 경우 용출 속도가 대부분 음의 값으로 농도가 감소하는 경향을 보였으며 혐기 조건에서의 용출 속도는 인평 저수지가 업성 저수지에 비해 더욱 빠른 경향을 보였다.

표 1. 생활계 저수지 평균 용출 속도($mg/m^2 \cdot day$)

	인평 저수지			업성 저수지		
실험 조건	대조군	호기	혐기	대조군	호기	혐기
COD	126	-220	176	-121	-147	52.4
T-N	-2.98	-25.8	-41.9	-6.00	-19.9	-61.8
T-P	-10.5	-4.22	26.7	-2.14	-11.7	14.0
NH_4-N	61.5	-87.2	46.6	152	-63.4	20.6
NO_3-N	-6.34	96.5	-4.00	15.0	107	-9.79
PO_4-P	0.59	0.25	33.2	3.75	-0.08	17.8

2. 축산계 저수지 용출속도 산정결과

축산계 저수지의 용출량을 산정하여 내부 오염 부하량으로 인한 수체에 미치는 영향을 평가하기 위해 용출 실험을 실시하였다. 결과는 아래의 [표 2]에 나타내었다.

공리에서는 호기 조건에서는 COD, T-N, T-P의 값이 음의 값을 나타내고 NO_3-N과 PO_4-P만 농도가 증가하는 경향을 보였으나 이담에서는 호기 조건에서도 T-N, T-P, NO_3-N, PO_4-P의 항목에서 농도가 증가하는 경향을 보인 것으로 조사되었다. 특히 이담의 경우는 혐기 조건에서는 모든 항목에서 농도가 증가하는 경향을 보이는 것으로 조사되었고 대조군에서도 NO_3-N을 제외한 모든 항목에서 농도가 증가하는 경향을 보여 산소 조건에 관계없이 용출이 매우 잘 일어나는 것으로 조사되었다. 또한 혐기 조건에서 용출 속도도 공리 보다 훨씬 빠르게 일어난 것으로 조사되었는데 COD의 경우 이담의 경우 용출 속도가 139 $mg/m^2 \cdot day$로 47.3 $mg/m^2 \cdot day$인 공리보다 약 3배 빨랐고 특히 T-N의 경우는 이담에서 140 $mg/m^2 \cdot day$로 17.5 $mg/m^2 \cdot day$인 공리보다 8배 빠른 것으로 조사되었다. 전체적으로 용출은 이담이 공리 보다 잘 일어나는 것으로 조사되었으며 따라서 퇴적물의 용출에 의한 내부 오염이 수체에 미치는 영향은 이담 저수지에서 더욱 심각할 것이라 사료된다.

표 2. 축산계 저수지 평균 용출 속도(mg/m²·day)

	이담 저수지			공리 저수지		
실험 조건	대조군	호기	혐기	대조군	호기	혐기
COD	4.25	-85.4	139	43.0	-34.5	47.3
T-N	119	8.56	140	18.1	-92.0	17.5
T-P	37.6	11.3	79.7	11.6	-5.01	51.3
NH_4-N	162	-122	33.0	71.5	-67.5	-16.7
NO_3-N	-7.07	154	0.34	-0.06	82.4	-2.52
PO_4-P	6.01	5.32	24.7	1.68	1.71	18.9

3. 연구 대상 저수지 분류 조건 별 평균 용출속도 비교

연구 대상 저수지의 분류 조건인 오염원인 별, 설치년도 별로 나누어 평균 용출 속도를 아래의 [표 3]과 [그림 1]에 나타내었다. 생활계는 호기 조건에서 용출이 일어나지 않았으며 축산계도 T-P를 제외하고는 용출이 일어나지 않은 것으로 조사되었다. 혐기 조건의 경우 호기보다 용출되는 항목들이 증가했으며 특히 생활계 보다 축산계에서 T-N 및 T-P의 용출량 증가가 눈에 띄었다. 또한 혐기 조건에서 축산계의 T-N과 T-P의 용출 속도는 생활계 보다 빨랐으나 COD의 용출 속도는 생활계가 보다 빠른 것으로 조사되었다. 설치 년도 별 저수지의 경우 호기 조건에서는 1960년대 이전에 설치된 저수지에서 T-P의 용출이 일어나는 것으로 조사되었으나 대부분의 항목이 음의 값으로 조사되었다. 혐기 조건에서는 1960년대 이전에 축조된 저수지의 경우 COD, T-N, T-P의 모든 항목에서 1960년대 이후에 설치된 저수지 보다 용출 속도가 빠른 것으로 조사되어 1960년대 이전에 축조된 저수지에서 용출이 보다 활발한 것으로 판단된다. 전체적으로 분류 조건에 관계없이 호기 보다는 혐기에서 더욱 용출이 활발한 것으로 조사되었다

표 3. 연구 대상 저수지 분류 조건 별 평균 용출속도(mg/m²·day)

	호기 조건				혐기 조건			
실험 조건	생활계	축산계	60년대 이전	60년대 이후	생활계	축산계	60년대 이전	60년대 이후
COD	-184	-60.0	-153	-90.7	114	93.2	157	49.8
T-N	-22.9	-41.7	-8.64	-55.9	-51.9	78.8	49.0	-22.1
T-P	-7.95	3.15	3.54	-8.34	20.3	65.5	53.2	32.7

그림 255. 연구 대상 저수지 분류 조건 별 평균 용출속도(mg/m²·day)

4. 연구 대상 저수지 별 용출량이 수체에 미치는 영향 비교

연구 대상 저수지 별 용출량이 수체에 미치는 영향은 먼저 농도로 환산(총 용출량*35 day/유효저수량)한 후 저수지 수질 농도로 나눈 후 백분율로 환산한 값이다. 여기서 사용한 체류시간 35일은 '환경부 훈령 제 555호 수역별수질평가지침'에서 정한 값을 사용하였다. 결과는 아래의 [표 4]에 나타내었다.

조건별 용출량이 수체에 미치는 영향은 호기 조건에서 보다 혐기 조건에서 수체에 대한 기여도가 더 크게 나타났다. 특히 인의 경우 수체에 미치는 영향이 가장 큰 항목으로 판단되며, 인평과 이담에서 각각 14.44%, 22.13%로 높은 기여도를 보였다. 또한 혐기 조건에서 COD와 T-P는 모든 저수지에서 수체에 영향을 미치는 항목으로 조사되어, 혐기 조건이 형성되었을 시 수체는 COD와 T-P의 항목에 대해 오염 물질이 용출되어 내부 오염으로 작용할 수 있을 것으로 사료된다.

표 4. 연구 대상지 별 용출량이 수체에 미치는 영향(체류시간 35일 기준)

체류시간 35일 기준	호기			혐기		
항목	COD(%)	T-N(%)	T-P(%)	COD(%)	T-N(%)	T-P(%)
인평 저수지	-3.16	-1.20	-2.28	2.52	-1.94	14.44
업성 저수지	-1.94	-0.78	-6.22	0.69	-2.41	7.46
이담 저수지	-0.47	0.30	3.14	0.76	4.83	22.13
공리 저수지	-0.19	-1.66	-0.52	0.26	0.32	5.32

5. 연구 대상 저수지 분류 조건 별 용출량이 수체에 미치는 영향 비교

연구 대상지를 오염원인 별, 설치년도 별로 나누어 평균값으로 수체에 미치는 영향을 계산해 본 결과를 아래의 [표 5]와 [그림 2]에 나타내었다.

그 결과 호기 조건에서 생활계 및 1960년대 이후의 경우에는 용출량이 수체에 미치는 영향이 음의 값으로 오히려 감소한 것으로 조사되어 수체에 미치는 영향이 미미한 것으로 나타났다. 그러나 호기 축산계와 1960년대 이전 저수지의 경우 T-P에 미치는 영향이 각각 1.31%, 0.43%로 호기 조건에서도 약간 영향을 미치는 것을 조사되었다. 호기 조건에서는 이렇게 다소 미미한 영향을 미치는 것으로 조사되었으나 혐기 조건에서는 퇴적물의 용출이 저수지에 미치는 항목의 수와 영향이 크게 증가하는 것으로 조사되었다. COD는 모든 분류 저수지에서 영향을 미치는 것으로 조사되었으며 특히 T-P가 영향을 가장 크게 미치는 것으로 조사되었다. T-P의 경우, 용출량이 수체에 미치는 영향은 생활계에서 11.0%, 축산계에서 13.7%, 1960년대 이전에서 18.3%으로 높은 기여도를 보였고 1960년대 이후에서 6.39%로 상대적으로 낮은 기여도를 나타냈다.

표 5. 체류시간 35일 기준 분류 조건 별 용출량이 수체에 미치는 영향

체류시간 35일 기준	호기 조건				혐기 조건			
실험 조건	생활계	축산계	60년대 이전	60년대 이후	생활계	축산계	60년대 이전	60년대 이후
COD(%)	-2.55	-0.33	-1.82	-1.07	1.61	0.51	1.64	0.48
T-N(%)	-0.99	-0.68	-0.45	-1.22	-2.18	2.58	1.45	-1.05
T-P(%)	-4.25	1.31	0.43	-3.37	11.0	13.7	18.3	6.39

그림 256. 체류시간 35일 기준 조건 별 용출량이 수체에 미치는 영향

6. 결론

농업용 저수지를 대상으로 내부 오염 부하량 산정을 위해 용출량 실험을 실시하였다. 그 결과 오염원인 별 분류에서는 혐기 조건의 축산계 저수지에서, 설치년도 별 분류에서는 혐기 조건의 1960년대 이전에 설치된 저수지에서 용출에 의한 내부 오염 가능성이 가장 큰 것으로 나타났다. 또한 T-P의 경우, 용출량이 수체에 미치는 영향이 COD, T-N에 비해 큰 것으로 나타났다. 따라서 이러한 분류에 따른 각 저수지들은 그 특성에 따른 관리·적용 기술이 적용되어 개선되어야 할 필요가 있다.

감 사 의 글

본 연구는 한국농어촌공사 농어촌 연구원의 연구비 지원에 의해 수행되었습니다.

참 고 문 헌

1. 이상은(2012), 汽水域堆積物의 汚染特性및 塩分変化에 따른 營養塩類溶出特性研究= A study on pollution level and characteristics of releasing from sediment according to salinity changes on brackish water zone, 경희대학교
2. 나유미(2005), 호수 퇴적물 인 용출 제어를 위한 현장 처리제 개발 및 모델 연구, 이화여자대학교
3. 홍일(2003), 都市中小河川에서의 自淨能力糾明에 관한 硏究, 경희대학교
4. Environmental Protection Agency Office of Solid Waste and Emergency Response(2005), Contaminated Sdeiment Remediation Guidance for Hazardous Waste Sites, EPA/540/R/05/012, USEPA/U.S.
5. 정우혁(2007), 모래캡핑(Capping)과 영가철(Fe0)을 이용한 오염퇴적물 복원에 관한 연구, 한남대학교
6. 김도희(2002), 영양염 용출 측정에 관한 고찰, 한국환경과학회지. 11(12), 1333-1337
7. 환경부(2013.04), 생태하천 복원을 위한 오염퇴적물 최적관리 및 제도개선 방안 연구
8. 김태훈(2011), 화성호 퇴적물 내 인 존재 형태에 따른 거동특성 분석, 경희대학교